



Modelo de Simulación Dinámica para evaluar la inversión en capacidades de Innovación Tecnológica en la Industria Colombiana de Software

Dynamics Simulation Model for evaluating the investment in Technological Innovation in the capabilities of Colombia Software Industries

Sindy Johana MARTÍNEZ Marín ¹; Santiago ARANGO Aramburo ²

Recibido: 05/09/16 • Aprobado: 29/09/2016

Contenido

1. Introducción
 2. La industria colombiana de software
 3. Capacidades de innovación tecnológica
 4. Modelo de simulación dinámica
 5. Resultados de simulaciones y análisis de escenarios
 6. Conclusiones
- Agradecimientos
- Referencias bibliográficas

RESUMEN:

En Colombia, la Industria de Software y las Tecnologías de Comunicación son consideradas un sector de clase mundial que impulsa el crecimiento económico. Hasta el momento, esta industria ha pasado de un crecimiento moderado a una dinámica de crecimiento mayor gracias al fortalecimiento de sus capacidades. Este trabajo evalúa una combinación de políticas gubernamentales tales como la inversión en capacidades de innovación tecnológica: I+D, Mercadeo y Direccionamiento Estratégico. Para esto, se desarrolló un modelo de simulación con Dinámica de Sistemas que evaluó el efecto de las capacidades sobre las ventas por medio de análisis de escenarios. Se observó que la combinación de estas variables forman ciclos de realimentación positivos con el incremento de la inversión en las capacidades, aumentando el nivel de ventas.

Palabras claves: Industria de Software, Colombia, Modelamiento y Simulación, Dinámica de Sistemas, Capacidades de Innovación.

ABSTRACT:

In Colombia, the Software Industry and Communication Technologies are considered a World -Class sector, and it is expected to be an economic booster. So far, this industry has performed from moderate to dynamic growth due to the strengthening of capabilities. This paper evaluates a number of combination of governmental policies such as investment in innovation capabilities as R&D, marketing and strategic management. We perform such evaluation using a System Dynamic Model through scenario analysis. We observe that a combination of such variables have positive feedback with the increase of investment level in the capabilities.

Key Words: Software Industry, Colombia, Modelling and Simulation, System Dynamics, Innovation Capabilities.

1. Introducción

A nivel mundial, la Industria de Software es considerada una industria con dinámicas de crecimiento acelerado y expansión, por tener como base el conocimiento, la innovación y la diferenciación de productos y servicios (López & Ramos, 2007). El desarrollo inicial de esta industria se atribuye a países de economías sólidas con la elaboración de software estandarizado (Arora & Gambardella, 2004). Posteriormente, diversos países de economías en desarrollo como China, India y Brasil, ingresan a esta industria con productos y servicios diferenciados con el desarrollo de software a la medida. Esta condición permitió el ingreso de múltiples economías emergentes cuya estrategia se direccionó al cumplimiento de requerimientos de la demanda de un mercado en particular (Arora, Gambardella, & Klepper, 2005).

Por tanto, el desarrollo de esta industria y las estrategias de innovación han estado siempre relacionadas. Las empresas desarrolladoras de software requieren de alto contenido innovador como pilar fundamental de direccionamiento estratégico para garantizar la permanencia en un mercado altamente competitivo (Aguilar et al., 2012).

Colombia, como país de economía emergente ha incursionado también en esta industria. El desarrollo de este sector industrial ha sido un camino difícil por las condiciones particulares de la industria, como altos requerimientos de capacidades de innovación, conocimiento, mano de obra capacitada y especializada, regulaciones para exportaciones, exenciones de impuestos y acceso a beneficios financieros para consolidar las empresas (Bastos & Silveira, 2009). Todas estas dificultades se convirtieron en barreras de entrada y límites al crecimiento de la industria de software nacional (Aguilar et al., 2012; Martínez, Arango & Robledo, 2015).

Para contrarrestar los efectos de estas debilidades, se iniciaron programas de política nacional, investigaciones y estudios académicos, que permitieron el entendimiento de este sistema y su caracterización a través de indicadores que comparan el estado actual con países de ventajas comparativas similares (PROEXPORT, 2008; Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2008; McKinsey, 2008; FEDESOF, 2008). Los resultados de estas intervenciones han sido positivas porque han fortalecido este sector industrial, convirtiéndolo en un factor de importancia dentro de la economía nacional (Superintendencia de Sociedades, 2015; FEDESOF, 2015).

Actualmente la industria ha pasado de tener un crecimiento lento a mostrar dinámicas de crecimiento acelerado, con aumento de exportaciones y organización estructural por medio de clúster y agremiaciones (FEDESOF, 2015; Portafolio, 2015). De igual forma, el número de empresas y la participación en el mercado ha aumentado en comparación con datos históricos, dado el mejoramiento de las

condiciones empresariales y cambio en el direccionamiento estratégico, condición que se ve reflejado en el aumento de las ventas gracias a productos competentes de calidad (MINTIC, 2015).

El presente trabajo muestra los avances de la Industria de Software en Colombia en los últimos cinco años. Además, evalúa por medio de un modelo de simulación con dinámica de sistemas, políticas relacionadas con la inversión en capacidades de innovación y el análisis de estos efectos en el comportamiento de las ventas, exportaciones, participación en el mercado y acumulación de capacidades a través del tiempo.

Para la construcción del modelo de simulación dinámica, se tomó como referencia estudios previos realizados por Martínez, Arango y Robledo (2015), Martínez y Arango (2012) y Martínez (2013), en el análisis sistémico de esta industria para la construcción de hipótesis dinámica e implementación de metodologías de modelamiento que facilitaron el entendimiento de la complejidad y dinámica industrial del sistema.

Los resultados de esta intervención concluyen que la inversión en capacidades de innovación tiene efectos positivos sobre las ventas y demás variables económicas, dado la formación de ciclos de realimentación positivos. En el análisis de escenarios se pudo apreciar cuantitativamente cómo afectan estas variables al nivel de ventas con incrementos aproximados al 30% anual.

2. La industria colombiana de software

Para el año 2010, la Industria Colombiana de Software era considerada una industria pequeña, de crecimiento moderado, cercano al 8% anual (Martínez, Arango & Robledo, 2015; Heshusius, 2009; Bastos & Silveira, 2009), y en estado de inmadurez y desarticulación entre los actores (Robledo & Aguirre, 2010). Actualmente el panorama de esta industria es bastante alentador, mostrando crecimiento en ventas promedio de 12% a 20% entre los años 2011 a 2014 (Superintendencia de Sociedades, 2015), y presentando ventas aproximadas a 7.5 billones de pesos para el año 2015 (MINTIC, 2015).

Las exportaciones de software también presentaron un comportamiento importante, pasando de un crecimiento lento de 10% anual al 2010 (FEDESOF, 2011; PROEXPORT, 2012) a 32% en promedio desde el año 2010-2013 (Superintendencia de Sociedades, 2015; Rodríguez, 2007). Una posible causa asignable a este comportamiento es la reparación de la economía luego de la crisis económica del 2008.

Sin embargo, en el informe de Caracterización del Sector Software presentado por FEDESOF en el año 2015, se muestra que entre el 2013 y 2014, las importaciones de software superaron las exportaciones a razón de 2.2 veces. Esta condición evidencia la necesidad de evaluar los niveles de competitividad de las empresas de software nacional para cumplir con las necesidades de un mercado de alta competencia internacional y responder adecuadamente a efectos económicos adversos como la revaluación del peso frente al dólar al año 2015. En este estudio también se reportan los principales países compradores de software colombiano, manteniendo el dominio Estados Unidos (30%), España (12%), Ecuador (10%) y México (8%).

En cuanto al número de empresas, al año 2014 se reportan 392 empresas del sector software (Superintendencia de Sociedades, 2015), de las cuales 56 cuentan con la certificación en calidad del modelo CMMI (Capability Maturity Model Integration) entre los niveles III y V, superando indicadores de países como Brasil, Chile y Perú (Campo, 2008; MINTIC, 2015). Al año 2010, ya se encontraban certificadas bajo este modelo 40 empresas, gracias a la acción de entidades como el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), COLCIENCIAS (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación) y PROEXPORT (PROEXPORT, 2010).

De acuerdo a la caracterización de las empresas de software nacional, la oferta se encuentra aún dominada por MYPMES (Micro y Pequeña), representando el 81% del total (FEDESOF, 2015). Este porcentaje se redujo en comparación al año 2010 (92%) (PROEXPORT, 2010), lo que indica que se ha aumentado el número de empresas medianas y grandes como consecuencia del crecimiento industrial, representando la mayor contribución del total de las ventas (Superintendencia de Sociedades, 2015).

En general, el crecimiento y dinamismo de esta industria en mercados de competencia se evidencia en el aumento del aporte al PIB del año 2010 al 2012, con incremento de 1,1% (Portafolio, 2015; Revista Dinero, 2015). Esta industria mostró un crecimiento superior al promedio de las empresas nacionales, que para ese mismo periodo crecieron aproximadamente 8% (El Tiempo, 2014).

El camino para llegar al estado de desarrollo actual no ha sido fácil, pues investigaciones realizadas entre los años 2005 a 2013, muestran con preocupación indicadores industriales que catalogaban a esta industria como estática, pero con amplias capacidades de crecimiento y posicionamiento en mercados de alta competencia internacional. Entre esos estudios se destacan conclusiones importantes como poco crecimiento industrial, sincronía y expansión de mercados (Fúquene, Castellanos & Fonseca, 2007; Bastos & Silveira, 2009), problemas de estandarización de procesos y contabilidad de productos, carencia de datos confiables del estado actual de esta industria en el país (Martínez & Arango, 2012), industria desarticulada a causa de la complejidad (Robledo & Aguirre, 2010; Heshusius, 2009), empresas con bajos porcentajes de inversión en capacidades de innovación tecnológica que impide la acumulación de las mismas para cumplir con el desarrollo de software estandarizado de calidad de exportación (Aguirre, 2010; FEDESOF, 2012; Robledo & Aguirre, 2010), déficit de disponibilidad de recurso humano calificado (Bastos & Silveira, 2009; El Tiempo, 2015; FEDESOF, 2015; ICEX, 2012), entre otras.

Adicionalmente, en otras investigaciones se aborda esta complejidad con la implementación de técnicas de modelamiento, concluyendo que el problema del crecimiento de esta industria, se relaciona con el desconocimiento de la dinámica sistémica industrial en un mercado de alta competencia (Martínez, Arango & Robledo, 2015; Martínez, 2013; Martínez & Arango, 2012).

El panorama actual de crecimiento se debe a la intervención del gobierno nacional con el desarrollo de programas para el fortalecimiento de la Industria de Software como sector industrial que apoye el crecimiento económico del país. Dentro de estos programas, se resalta el Programa de Transformación Productiva (PTP) desde el año 2007, con el objetivo de impulsar el crecimiento de sectores estratégicos de clase mundial como motor de desarrollo de la economía nacional (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2008). Específicamente para el sector software, se esperaba generar un crecimiento entre el 17% y 19% anual desde el año 2013 (McKinsey, 2008). Al revisar los indicadores económicos de esta industria, se puede concluir que se ha cumplido con este objetivo.

El Programa de Fortalecimiento de la Industria de Tecnologías de la Información (FITI), ligado al programa PTP, se enfocó en la dinamización de 8 líneas estratégicas de acción a través de la construcción de un modelo integral y sistémico. Estas líneas reforzaron las capacidades para superar las principales debilidades a nivel empresarial e industrial, haciendo énfasis en el fortalecimiento empresarial, infraestructura, asociatividad en modalidad de clúster, calidad, talento humano, visión estratégica e inversión en I+D+i como capacidad de innovación tecnológica (FEDESOF, 2012).

En cuanto a la inversión en I+D que realizan las empresas de software, el Estudio de Caracterización del Sector Software realizado por FEDESOF en el 2012, concluye que tan solo el 14% de las empresas cuentan con un departamento dedicado a la investigación y desarrollo, y de estas, solo el 0,6% del personal cuentan con grado de especialización, maestría o doctorado. Lo anterior demuestra que se requiere mayor inversión en las capacidades que se relacionen con la formación, capacitación y especialización del recurso humano, dado las condiciones de esta industria como industria de conocimiento (Pérez y Robledo, 2012; Pérez & Palacio, 2009; Merchan & Urrea, 2007).

Además, los montos de inversión en I+D es inferior a cien millones de pesos para el 69% de las empresas y el número de proyectos inferior a 15 para el 90% de estas (FEDESOF, 2012). En la versión actual de este estudio (2015), se mantiene bajo el porcentaje de

empresas que invierten en estas capacidades, llegando al punto de que aun el 62% de la muestra encuestada, desconocen políticas de deducción de rentas por la implementación de políticas de inversión en capacidades de innovación (FEDESOFIT, 2015).

De acuerdo a lo anterior, la estructura de la industria permite clasificarla como un factor dinámico de competitividad (Aguirre et al., 2012) que requiere de estrategias de crecimiento industrial para potencializar el posicionamiento en mercados internacionales de importancia, disminuyendo el efecto de la amenaza de la competencia (Stermán, 2000).

3. Capacidades de innovación tecnológica

Las capacidades de innovación expresan la relación entre la innovación y los recursos organizacionales en pro de la innovación (Aguilar et al., 2012; Gómez, 2011; Robledo & Aguirre, 2010). Siguiendo a Rouseva (2007), a través de procesos de aprendizaje, estas capacidades se convierten en conocimientos que les permiten a las empresas adquirir, utilizar, adaptar, cambiar y crear tecnología en pro de la estrategia de innovación de una organización.

De acuerdo a esto, las capacidades de innovación tecnológica son un medio generador de ventaja competitiva a través del uso eficaz del conocimiento tecnológico (Kim, 2006; Yam et al., 2004), que mejora la actividad industrial y potencializa el crecimiento económico a largo plazo (Napal, 2001).

Recientemente, Pérez (2011) presenta una nueva propuesta para asociar y definir las capacidades de innovación tecnológica de la siguiente manera:

- Direccionamiento Estratégico: Capacidad de formular e implementar estrategias de innovación exitosas
- I+D: Capacidad de introducir y desarrollar conocimiento para generar innovaciones
- Producción: Capacidad de adaptar y transformar los sistemas productivos de la organización según las exigencias de innovación
- Mercadeo: Capacidad de introducir exitosamente las innovaciones de mercado
- Gestión de Recursos: Capacidad de identificar, acceder y cultivar los recursos de la organización para la innovación.

Para varios autores, el éxito en la incursión de países de ingreso tardío en la Industria del Software se atribuye a la inversión y desarrollo de estrategias de innovación, dando como resultado adquisición de ventaja competitiva, crecimiento y expansión de firmas y mejoramiento de indicadores de crecimiento industrial (Aguirre, 2010; Breznitz, 2007; M'Chirgui, 2009; Malerba, 2007; Palomino, 2011; Villalba et al., 2016).

Cagmani (1991) argumenta que la innovación y el conocimiento se relacionan de manera continua y permanente, originando ciclos de refuerzo que permiten la generación de nuevos conocimientos basados en la innovación. A su vez, estos ciclos se complementan con el crecimiento económico de las industrias que potencializan la economía de una nación. Por tanto, en sectores que requieren de altos niveles de innovación, conocimiento y capacidades dinámicas, caso Industria de Software, estos ciclos deben reforzarse como factor crítico de competitividad (Capaldo et al., 2003).

Los mencionados efectos de realimentación dominantes en el modelamiento de las capacidades de innovación, asignan características de sistemas dinámicos y complejos, por lo que es menester incluir metodologías que permitan el entendimiento de estos sistemas cambiantes en el tiempo.

Con relación a lo anterior, Aguilar et al. (2012) explica como las capacidades de innovación pueden reforzar de manera directa las ventas, y estas, a través de procesos de inversión y acumulación de capacidades, conducen al mejoramiento de las mismas. En esta misma línea, Lopera (2012) y Villalba et al. (2016) concluyen que bajos niveles de acumulación de capacidades de innovación conducen directamente a escenarios de bajo crecimiento y competitividad industrial. Adicionalmente, exponen que la acumulación de estas capacidades sustenta la innovación permanente en procesos productivos, actividades de mercadeo, decisiones estratégicas y aumentan las posibilidades de ingreso a amplios mercados de exportación.

Diferentes investigaciones se han centrado en desarrollar métodos de medición y cuantificación de las capacidades de innovación en empresas y advierten que esta medición es compleja. Dentro de esta categoría, Gómez (2011) evaluó estas capacidades en empresas desarrolladoras de software en Colombia a través de la implementación de encuestas y manuales de innovación y Aguirre (2010) integra programación Fuzzy Logic para este mismo objetivo. Sin embargo, pese a las condiciones de complejidad y dinámica de las variables de innovación, es menester evaluar a través de modelamiento con dinámica de sistemas la acumulación de estas capacidades con relación a la inversión y el efecto sobre las ventas, condiciones que se correlacionan con el crecimiento y fortalecimiento de la industria.

4. Modelo de simulación dinámica

La simulación permite el entendimiento de sistemas complejos a través de la construcción de modelos virtuales, denominados micromundos, sobre los cuales se pueden realizar inferencias sobre el comportamiento del sistema real (Morecroft, 2015; Stermán, 2000).

La Dinámica de Sistemas (DS) es un método de simulación que facilita la comprensión de los sistemas en el tiempo, analizar relaciones entre variables que se explican a través de la formación de ciclos de realimentación (Forrester, 1997) y evaluar políticas para determinar el estado futuro del sistema (Stermán, 2000).

Este método ha sido aplicado desde sus inicios al estudio de la estrategia con foco en la dinámica de crecimiento industrial (Forrester, 1997). Gracias a su versatilidad, es aplicado a gran escala en el entendimiento de sistemas complejos, entre ellos, los sistemas sociales, económicos y ambientales (Dyner et al., 2008).

Stermán (2000) expone el siguiente proceso iterativo para facilitar el modelamiento de los sistemas dinámicos:

- Articulación del problema (límites del modelo): Etapa de formulación del problema con identificación de variables clave, interacciones y límites.
- Hipótesis Dinámica: La formulación de esta hipótesis explica la dinámica del comportamiento en términos de su estructura endógena de realimentación.
- Formulación (Modelo formal de flujos y niveles): Inclusión de ecuaciones dentro del modelo Forrester (Flujos y Niveles). Corridas de simulación preliminares.
- Validación: Serie de pruebas que validan la estructura y el comportamiento del modelo con referencia al sistema real.
- Formulación de políticas y evaluación: Análisis de escenarios que evalúan y pronostican el comportamiento del sistema ante cambios endógenos y exógenos. Simulaciones controladas.

4.1 Diagrama de Bloques

El Diagrama de Bloques o de Subsistemas representa la arquitectura completa de un modelo de simulación dinámica (Stermán, 2000) al ampliar la comprensión de las relaciones y realimentaciones entre los diferentes subsistemas (actores) y variables.

Aplicado a la Industria del Software, se ha desarrollado un Diagrama de Cuatro Bloques presentado en la Figura 1. Este diagrama identifica cuatro subsistemas principales: Oferta – Demanda – Gobierno – Capacidades de Innovación.

La oferta se compone de las empresas de software con las condiciones particulares en su caracterización que las definen como un sector dominado por Micro, Pequeñas y Medianas empresas. Por su parte, la demanda se relaciona con las necesidades y requerimientos de clientes en el mercado potencial. Estas fuerzas se combinan en un mercado de transacciones que propicia el intercambio de productos, servicio y capital (Malerba, 2007).

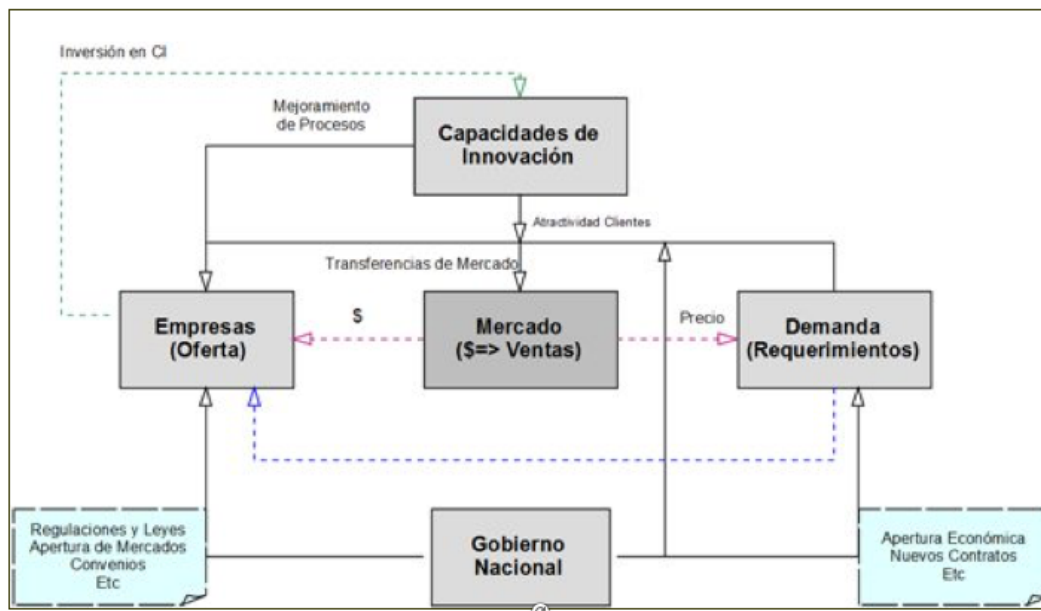


Figura 1. Diagrama de Cuatro Bloques - Industria del Software

El gobierno nacional es un factor exógeno que influye significativamente en los demás bloques del sistema; por ejemplo, afecta a la oferta con créditos, inversiones de capital, regulaciones y leyes que faciliten el crecimiento y fortalecimiento de las PYMES. Desde el punto de vista de la demanda, procesos como la apertura económica, acuerdos y demás programas, aumentan los requerimientos de los consumidores.

Finalmente, la conexión entre el mercado y la oferta es dominada por el subsistema de las capacidades de innovación, enfocado en el mejoramiento de las condiciones técnicas de los productos y aumento del margen de participación de la firma en el mercado con productos atractivos de alto contenido innovador (Castañeda, 2009; Ovallos, 2014).

4.2 Hipótesis Dinámica

El ciclo de refuerzo R1 relaciona la atraktividad de la industria en función de las ventas; por tanto, a mayor número de productos en el mercado, mayor será el nivel de ventas, y con la optimización de costos internos, el incremento de las ventas aumenta la atraktividad de la industria para el ingreso de nuevos competidores.

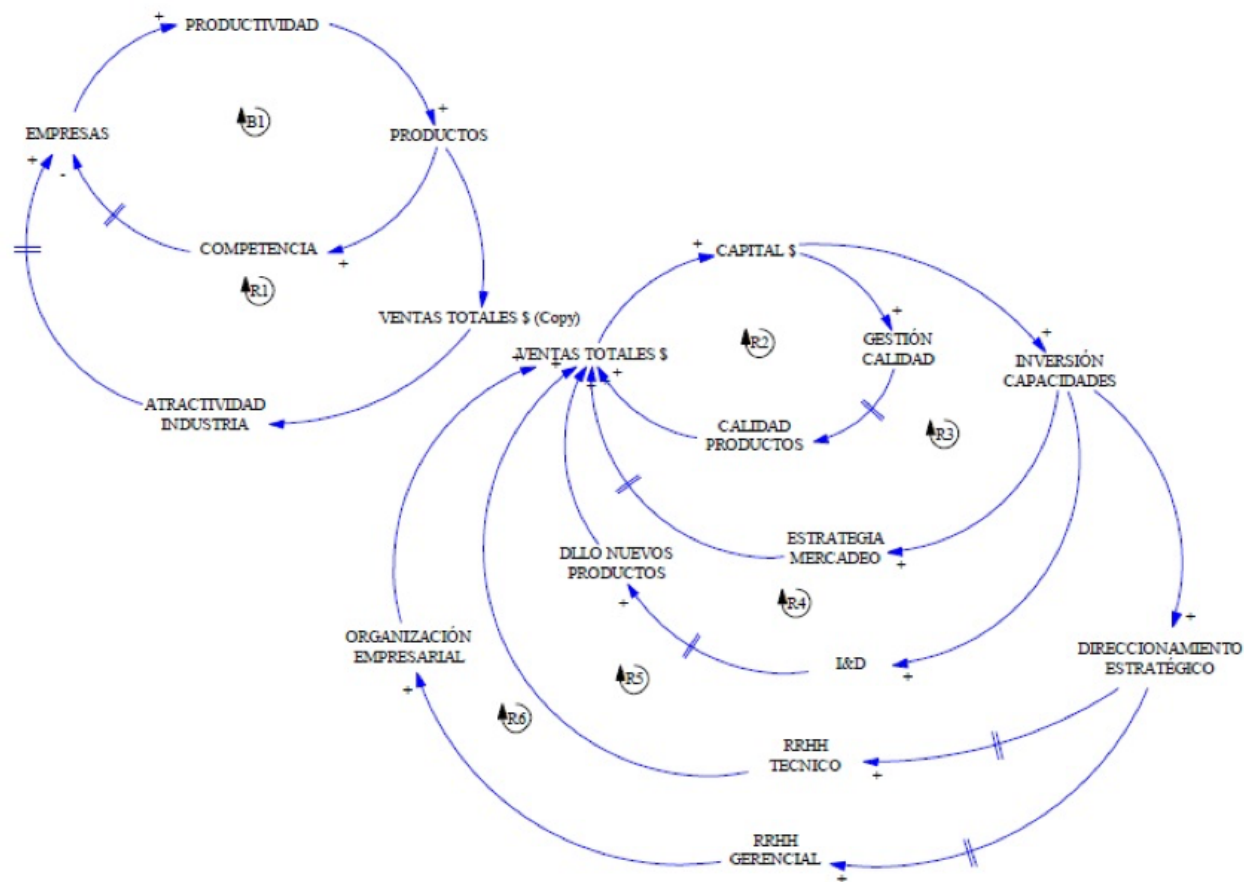


Figura 2. Diagrama Causal - Industria del Software

4.3 Modelo Formal de Simulación

El Diagrama Forrester formaliza el modelo de simulación en función de las ecuaciones y relaciones entre las principales variables del sistema (Arango, Prado y Dynner, 2009), identificando cuáles actúan como flujos (alimentadoras) de las variables niveles (acumuladores) (Morecroft, 2015). Las conexiones entre estas variables, parámetros y demás variables auxiliares, se representan por medio de conectores que establecen de manera automática el sentido de la relación y el efecto de la realimentación en el sistema (Sterman, 2000).

Los supuestos principales que se consideraron en el desarrollo de este modelo son:

- Se plantea como horizonte de tiempo 12 años, que corresponde a la mitad del tiempo estipulado por el Programa de Transformación Productiva.
- Se establece como paso de tiempo de las simulaciones 1 año.
- Para la caracterización de la industria dentro del modelamiento se utilizan las categorías de empresas, considerando: micro y pequeñas (MYPE), medianas (ME) y grandes (GE).
- Para cada categoría de empresas, se modela la acumulación en capacidades de innovación (I+D, mercadeo y direccionamiento estratégico), de acuerdo a los niveles iniciales reportados en la literatura para la Industria del Software en Colombia (Aguirre, 2010; Gómez, 2011; Palomino, 2011).
- Los efectos de las capacidades de innovación sobre las ventas, se ponderan de acuerdo al tipo de empresa y su inversión en capacidades específicas.
- Para cada categoría de empresas, se evalúa el nivel de producción con relación al número de empresas, desarrollo de productos, ventas nacionales, exportación, participación en el mercado y atraktividad de la industria. Las condiciones iniciales de estos indicadores fueron tomados de manera numérica y relativa de estudios realizados por Aguirre (2010), Aguilar et al., (2012), ICEX (2012), FEDESOFTE (2008, 2009, 2011, 2012), Gómez (2011), Palomino (2011), PROEXPORT (2008, 2009, 2010, 2011, 2012) y Villalba (2012).
- El enfoque inicial contempla la participación de empresas nacionales en el mercado de la Industria del Software en Colombia. Factores de competencia externa y demás factores relacionados, se analizan en Villalba (2012), y otros, considerándose como factores exógenos a este análisis.
- El modelo se desarrolla exclusivamente para empresas cuya actividad principal es el desarrollo de software.
- El software utilizado en el modelamiento es Powersim Studio 9 ®, versión académica.

4.4 Validación del Modelo

Barlas (1996) argumenta que en los modelos de Dinámica de Sistemas deben realizarse pruebas de validación de estructura y comportamiento dado su naturaleza causal-descriptiva. Para validar su estructura se implementó un panel *ad hoc* de expertos en los que se inspeccionó por medio de pruebas de condiciones extremas que el modelo conservará las leyes físicas de relación entre las variables y consistencia dimensional.

La Figura 3 muestra los resultados de validación de estructura orientada al comportamiento, al evaluar como condición extrema la inversión cero en la capacidad de I+D. Lo anterior resulta por lógica operacional entre relaciones de realimentación de las variables, puesto que al tener niveles bajos de estas capacidades, los efectos sobre la productividad y las ventas es bajo.

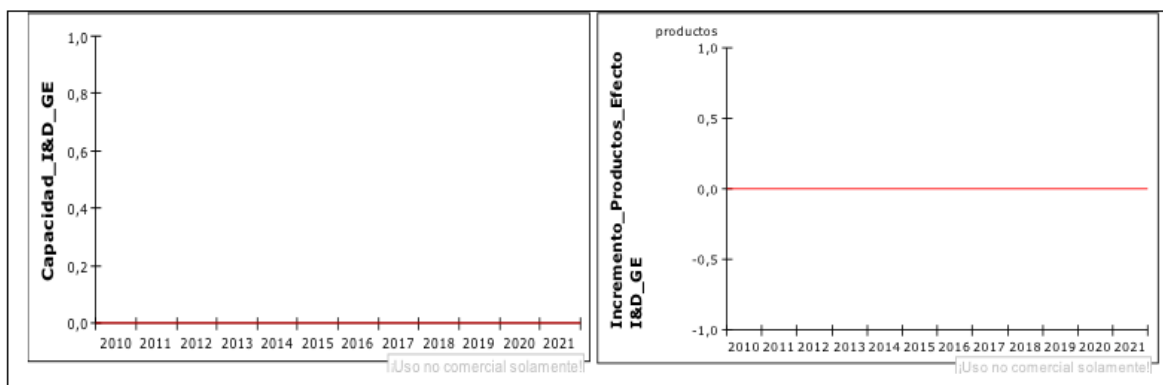


Figura 3. Validación Estructura – Inversión Cero en Capacidad I+D

De igual forma, se evaluó el modelamiento de la variable empresas y sus interacciones con las demás variables al tener un valor inicial cero para las empresas grandes (GE). Los resultados se presentan en la Figura 4 y demuestran validez del modelo en relación a Productos, Ventas y Participación en el Mercado.

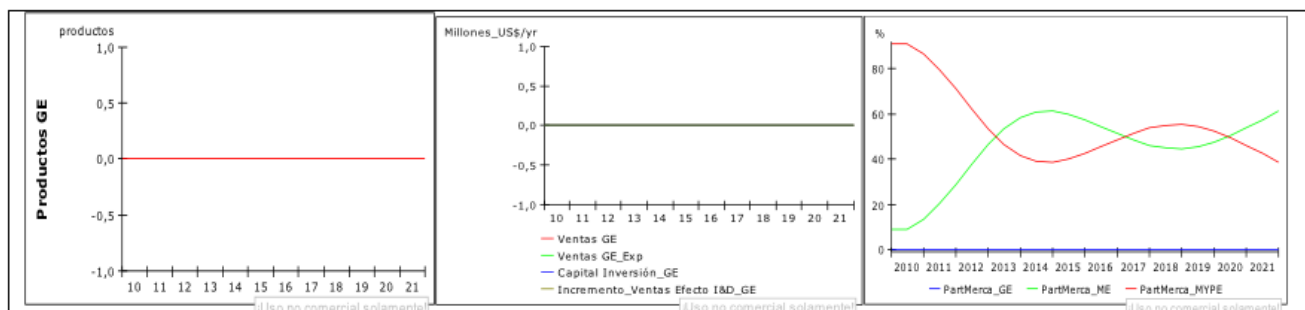


Figura 4. Validación de Estructura - Empresas GE Cero

Para la validación del comportamiento se usaron los resultados preliminares de las simulaciones en comparación con los datos históricos de ventas de software para el período 2005-2013, según referencias de FEDESOFTE (2011) y PROEXPORT (2011, 2012). La Figura 5 muestra esta comparación de tendencias, permitiendo concluir que el modelo reproduce los datos históricos con una diferencia inferior al 5%, lo que le otorga confiabilidad en los resultados obtenidos.

De acuerdo a lo anterior, el modelo reproduce las condiciones iniciales del sistema real evidenciado en el crecimiento moderado que ha mantenido esta industria a nivel nacional. Además, muestra como la inversión en las capacidades de innovación evaluadas propicia el crecimiento industrial a partir de los procesos de aprendizaje y realimentación positiva entre las ventas y la reinversión en estas capacidades (Aguilar et al., 2012; Lee & Von, 2005).

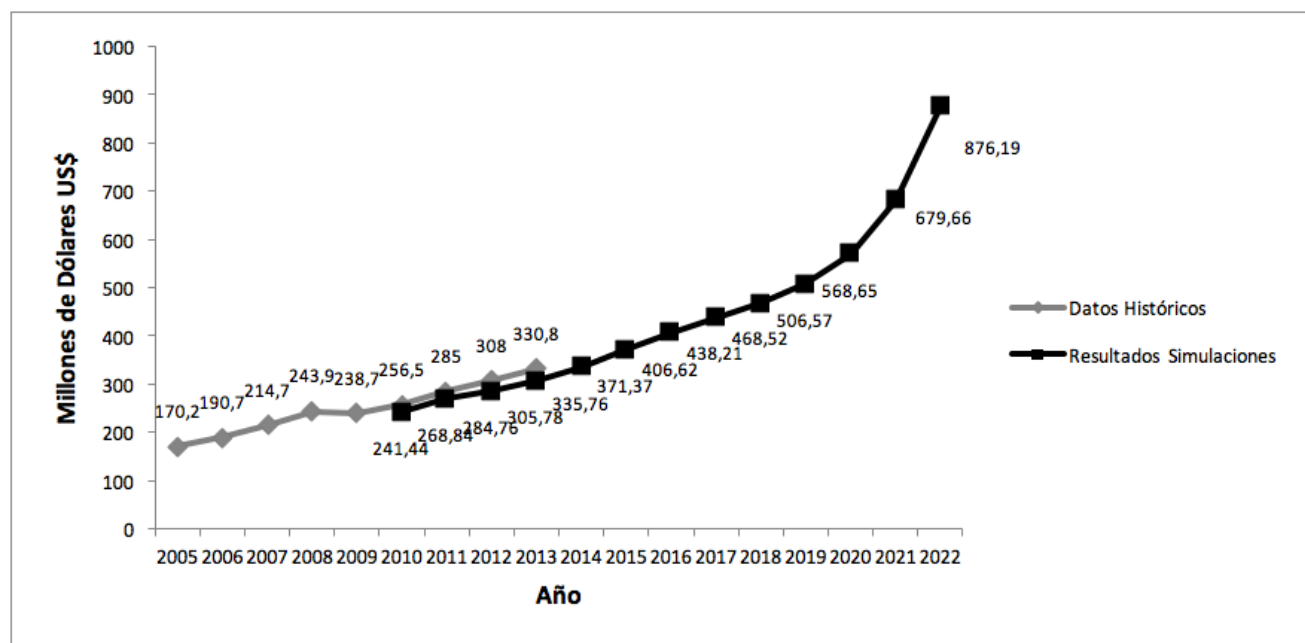


Figura 5. Validación Comportamiento - Ventas Históricas Vs Ventas Simuladas

5. Resultados de simulaciones y análisis de escenarios

La evaluación de políticas de inversión en capacidades de innovación se hace a través de la construcción de escenarios de simulación que contemplen diferentes condiciones iniciales para los parámetros del modelo. Los resultados de estos escenarios se comparan con el

Escenario Base (EB), el cual consideró las condiciones de la industria al año 2010 (*status quo*).

Para esto, la Tabla 1 contiene los valores iniciales de las capacidades de innovación simuladas por categoría de empresa: Micro y Pequeñas (MYPE), Medianas (ME) y Grandes (GE).

Tabla 1. Valores Iniciales - Escenario Base

Variable	Empresas MYPE	Empresas ME	Empresas GE
Capacidad I&D	0,1	0,2	0,35
Capacidad Mercadeo	0,2	0,25	0,5
Capacidad Direccionamiento Estratégico	0,2	0,3	0,4
Inversión Capacidad I&D	10,00%	14%	30,00%
Inversión Capacidad Mercadeo	8,00%	10,00%	20,00%
Inversión Capacidad Direccionamiento Estratégico	12,00%	13,00%	25,00%

Los resultados de las simulaciones se presentan de forma comparativa por clasificación de empresas en la Figura 6. Se puede observar entonces el comportamiento de estas capacidades de innovación a través del horizonte de tiempo simulado, indicando que éstas tienden a acumularse hasta llegar a un nivel de estabilidad o decrecimiento, lo cual se atribuye a la obsolescencia de la misma y a la poca reinversión. Las GE acumulan estas capacidades a un nivel mayor debido a que el capital para reinversión es superior que el de las otras dos categorías de empresas. Dado esto, puede esperarse que la participación del mercado sea dominado por las empresas grandes.

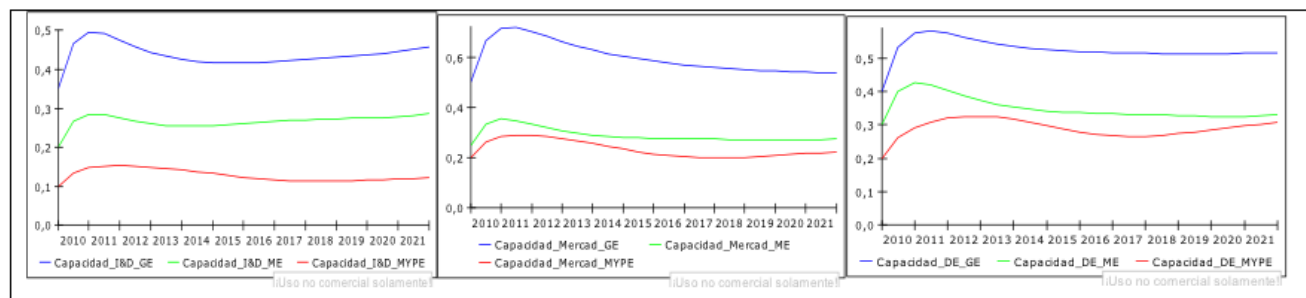


Figura 6. Capacidades de Innovación - EB

El comportamiento de las ventas se muestra en la Figura 7. En general, las ventas presentan un crecimiento promedio anual del 10%, porcentaje que se asemeja a las condiciones industriales para el año base simulado. El porcentaje de crecimiento se va a acelerando poco a poco gracias a los procesos de acumulación y aprendizaje de las capacidades analizadas. Sin embargo, con los niveles de inversión actual dista del comportamiento esperado para industria según la meta establecida por el PTP.

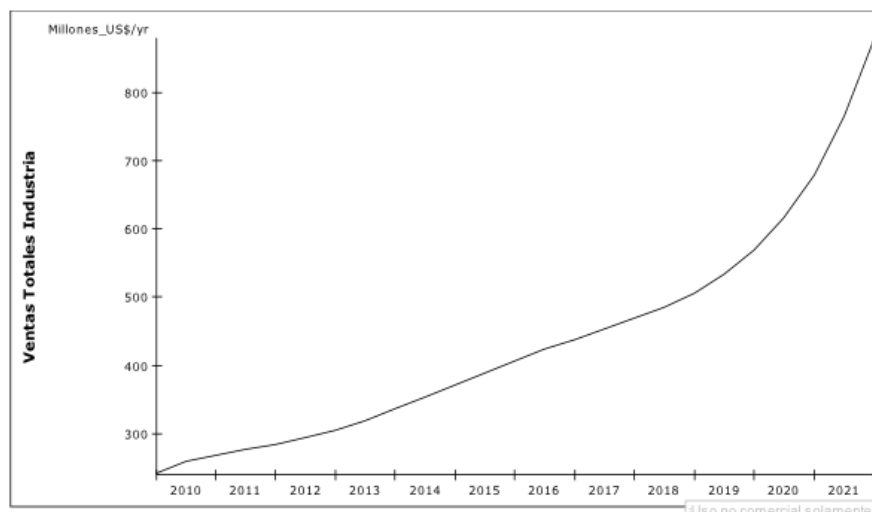


Figura 7. Ventas Totales - EB

Como escenario adicional (E3) se propone aumentar el porcentaje de inversión en las capacidades hasta niveles de referencia, manteniendo los valores iniciales del escenario base. La Tabla 2 presenta los valores de referencia de reinversión en las capacidades de

innovación asociadas a este estudio.

Dado los ciclos de realimentación positivos, se espera que al incrementar los niveles de inversión en estas capacidades, se mejoren los procesos de aprendizaje, experiencia y acumulación de capacidades, cuyos efectos se ven reflejados en el refuerzo de los ciclos de desarrollo de productos y ventas.

Tabla 2. Niveles de Inversión Referencia en Capacidades de Innovación

Variable	Empresas MYPE	Empresas ME	Empresas GE
Inversión Capacidad I&D	20,00%	30,00%	40,00%
Inversión Capacidad Mercadeo	20,00%	20,00%	30,00%
Inversión Capacidad Direccionamiento Estratégico	20,00%	30,00%	30,00%

Los resultados de las simulaciones para este escenario muestran incremento en las ventas de software en intervalos de 17% y 30%, presentado en la Figura 8. Además, las exportaciones muestran valores optimistas cercanos al 60%.

El análisis de las ventas por categoría de empresas muestra un escenario positivo para las MYPE y las ME con aumento en la participación del mercado. Este comportamiento se debe al dominio de los ciclos positivos sobre el ciclo de balance asociado a la competencia del mercado.

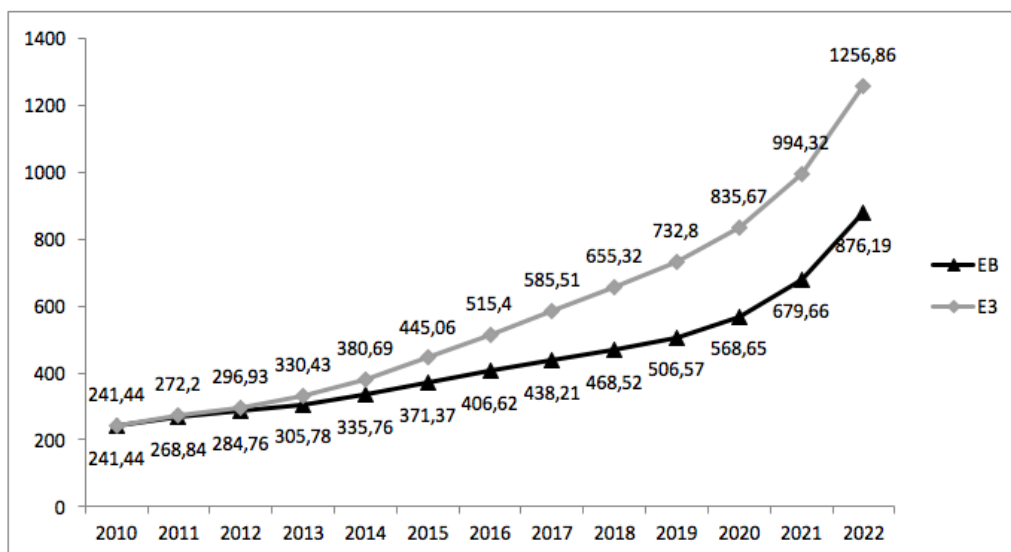


Figura 8. Comparativo de Ventas - EB Vs E3

Adicionalmente se analizaron otros tres escenarios E1, E2 y E4 con relación al EB. Su definición y los resultados sobre las ventas se presentan de forma resumida en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen escenarios, definición y ventas

ESCENARIO	DEFINICIÓN	VENTAS
E1	Contempla la no inversión en capacidades de innovación y nivel cero como valor inicial	Presentan reducción significativa en ventas con intervalos de 30% al 100% aproximadamente
E2	Relaciona el nivel de la capacidad con el efecto de la inversión sobre las ventas. Se considera constante los niveles de inversión en las capacidades	Al inicio del tiempo de simulación las ventas muestran similitud con el EB, pero a medida que este avanza, la diferencia se marca significativamente siendo inferior a EB
E4	La inversión en capacidades se frena desde el quinto año y se analiza en efecto sobre las ventas	Ventas iguales a EB hasta el quinto año. Desde allí las ventas muestran disminución cercana al 50% con relación al EB y

6. Conclusiones

La Industria de Software es una industria nueva en comparación con otros sectores industriales pero de gran potencial en el aporte económico de los países, debido a que es una industria transversal que iguala las oportunidades de crecimiento industrial y optimiza los recursos disponibles.

A nivel Latinoamericano, esta industria ha cobrado importancia en el desarrollo de países como Brasil, Argentina, México y Chile. Cada uno de estos ha enfocado sus estrategias de innovación de diferente manera, permitiéndoles generar ventaja competitiva y aprovechar las ventajas comparativas, enfocados en un nicho de mercado particular.

A nivel nacional, esta industria ha presentado un comportamiento satisfactorio de crecimiento económico, pasando de ser una industria pequeña, estática y desarticulada a una industria de potencial crecimiento con aporte significativo al PIB. El estado actual de esta industria en el país se debe a la gestión y fomento de diferentes programas que han sido creado en articulación Empresas – Universidad – Estado, a partir de los cuales se ha identificado problemas de crecimiento y se han desarrollado estrategias que eliminan las barreras de ingreso a mercados de alta competencia internacional.

Dentro de esas estrategias de innovación y conocimiento para propulsar el crecimiento industria, se encuentra la inversión en capacidades de innovación tecnológica y su evaluación desde la perspectiva sistémica, dado las condiciones de complejidad y dinámica de esta industria. Los resultados del modelamiento concluyen que estas capacidades actúan como apalancamiento para el crecimiento de las ventas.

El modelamiento facilitó el entendimiento del sistema y la evaluación de políticas mediante el análisis de escenarios. Las pruebas de validación del modelo dinámico mostraron consistencia dimensional y confiabilidad en términos de estructura y comportamiento en un escenario base, con diferencias inferiores al 5% del comportamiento histórico del sistema real.

El análisis de cada uno de los escenarios demostró la correlación positiva entre las capacidades de innovación y su efecto directo en las ventas. Específicamente el escenario, 3 igualó la inversión en estas capacidades a niveles de referencia. Los resultados de la simulación de este escenario muestran resultados favorables en relación al crecimiento en ventas, aproximadamente del 30% anual; referente que se alinea con las metas de los programas para el fortalecimiento industrial como el PTP.

Así pues, como conclusión general, se demuestra cuantitativamente los beneficios asociados a la inversión en las capacidades de I+D, Mercadeo y Direccionamiento Estratégico en el crecimiento económico empresarial, el fortalecimiento de capacidades de aprendizaje, talento humano y calidad de productos y servicios que permitan el ingreso a mercados competitivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS, la financiación otorgada al proyecto Modelamiento y Simulación de Estrategias de Innovación para el Crecimiento de la Industria Colombiana de Software y su Ingreso al Mercado Exportador. Los agradecimientos se extienden a Intersoftware (Red Colombiana de Empresarios de Software) y a los investigadores de la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Antioquia por sus contribuciones académicas y aportes significativos en el desarrollo y evaluación de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, J., Arango, S., Gómez, J., Hernández, I., Lopera, D., Maillane, J., ... Villalba, M. (2012). *Innovación para la Competitividad y el Crecimiento en la Industria Colombiana de Software* (Jorge Robledo Velásquez.). Medellín.
- Aguirre Ramírez, J. J. (2010). *Metodología para medir y evaluar las capacidades tecnológicas de innovación aplicando sistemas de lógica difusa caso fábricas de software* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Arango, S., Prado, J. J., & Dyner, I. (2009). Evaluación de políticas públicas para la reducción de la criminalidad en Medellín: una aproximación con dinámica de sistemas. *Ensayos sobre Política Económica*, 27(60), 80-108.
- Arora, A., & Gambardella, A. (2004). *The globalization of the software industry: perspectives and opportunities for developed and developing countries* (No. w10538). National Bureau of Economic Research.
- Arora, A., Gambardella, A., & Klepper, S. (2005). Organizational Capabilities and the Rise of the Software Industry in the Emerging Economies: Lessons from the History of some US Industries. *From underdogs to tigers*, 171.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System dynamics review*, 12(3), 183-210.
- Bastos Tigre, P., & Silveira Marques, F. (2009). *Desafíos y oportunidades de la industria del software en América Latina*. Cepal.
- Breznitz, D. (2007). Industrial R&D as a national policy: Horizontal technology policies and industry-state co-evolution in the growth of the Israeli software industry. *Research Policy*, 36(9), 1465-1482.
- Camagni, R. (1991). Introduction: from the local 'milieu' to innovation through cooperation networks. *Innovation networks: spatial perspectives*, 1-9.
- Campo, L. (2008). Modelos de capacidad y madurez en la industria del software en Colombia. *Generación Digital*, 7(2), 22-25.
- Capaldo, G., Iandoli, L., Raffa, M., & Zollo, G. (2003). The evaluation of innovation capabilities in small software firms: A methodological approach. *Small Business Economics*, 21(4), 343-354.
- Castañeda Zamora, J. A. (2009). SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN PARA POTENCIAR LA INDUSTRIA DEL SOFTWARE EN ANTIOQUIA. *Biblioteca Digital de la Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica*, 1(1).
- Dyner, I., Zapata, G. E. P., & Arango, S. (2008). *Modelamiento para la simulación de sistemas socio-económicos y naturales*. Universidad Nacional de Colombia (Medellín).
- El Tiempo. Radiografía de la Industria Colombiana de Software. Comunicación Oficial. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13421075>. 28 de Enero de 2014.
- Federación Colombiana de la Industria de Software y TI - FEDESOF. Sector de TI en Colombia. Recuperado a partir de <http://www.fedesoft.org/biblioteca/Colombia>. 2011.
- Federación Colombiana de la Industria de Software y TI - FEDESOF. *Estudio de la Caracterización de Productos y Servicios de la Industria del Software y productos Asociados 2012* (p. 78). Federación Colombiana de la Industria del Software. Recuperado a partir de

<http://fedesoft.org/estudio-de-la-caracterizacion-de-productos-y-servicios-asociados-2012/#more-470>. 2012

Federación Colombiana de la Industria de Software y TI - FEDESOF. *Informe de Caracterización del Sector Software y Tecnologías de la Información en Colombia*. Federación Colombiana de la Industria del Software. Recuperado a partir de <http://fedesoft.org/noticias-fedesoft/disponible-estudio-de-caracterizacion-de-la-industria-del-software-colombiano/>. 2015

Federación Colombiana de la Industria de Software y TI - FEDESOF. *Descripción del sector de software en Colombia*. Federación Colombiana de la Industria del Software. Recuperado a partir de <http://www.fedesoft.org/biblioteca/Colombia>. 2008.

Federación Colombiana de la Industria de Software y TI - FEDESOF. *Sector de TI en Colombia*. Federación Colombiana de la Industria del Software. Recuperado a partir de <http://www.fedesoft.org/biblioteca/Colombia>. 2009.

Federación Colombiana de la Industria de Software y TI - FEDESOF. *Sector de TI en Colombia*. Recuperado a partir de <http://www.fedesoft.org/biblioteca/Colombia>. 2011.

Forrester, J. W. (1997). Industrial dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 48(10), 1037-1041.

Forrester, J. W. (1958). Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers. *Harvard business review*, 36(4), 37-66.

Fúquene, A. M., Castellanos, Ó. F., & Fonseca, S. L. (2007). Basis for implementing a model of intelligence for strengthening the technological development of the software industry and its associated services in Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 182-192.

Gómez Rodríguez, M. E. (2011). *Evolución de las capacidades de innovación en la industria colombiana: Un análisis comparativo de los resultados de las encuestas de innovación de 1996 y 2005* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). 2011.

Heshusius, K. (2009). Colombia: desafíos de una industria en formación. *Desafíos y oportunidades de la industria del software en América Latina*. sl: Mayol.[Links].

ICEX. (2012). *El Sector Software en Colombia: Informes Sectoriales, Oportunidades de Inversión y Cooperación Empresarial* (p. 104).

Santafé de Bogotá, DC.: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Bogotá. Recuperado a partir de http://www.icex.es/icex/cda/controller/pageICEX/0,6558,5518394_5519172_5547593_577639_0_-1,00.html

Kim, L. (2006). La dinámica del aprendizaje tecnológico en la industrialización. *Seúl, Edit. Universidad de Korea*.

Lee, T. L., & Von Tunzelmann, N. (2005). A dynamic analytic approach to national innovation systems: The IC industry in Taiwan. *Research Policy*, 34(4), 425-440.

Lopera Carmona, D. C. *Análisis estratégico de la industria colombiana de software a partir de la simulación de escenarios de competencia utilizando Dinámica de Sistemas* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). 2012.

López, A., & Ramos, D. (2007). Complementación productiva en la industria del software en los países del Mercosur: impulsando la integración regional para participar en el mercado global. *Swiss Agency for Development and Cooperation-SCD (Suiza)*.

M'Chirgui, Z. (2009). Dynamics of R&D networked relationships and mergers and acquisitions in the smart card field. *Research Policy*, 38(9), 1453-1467.

McKinsey. (2008). *Desarrollando el sector de TI como uno de Clase Mundial*. Bogota D.C.

Malerba, F. (2007). Innovation and the dynamics and evolution of industries: Progress and challenges. *International Journal of Industrial Organization*, 25(4), 675-699.

Martínez Marín, S. J., Arango Aramburo, S., & Robledo Velásquez, J. (2015). El crecimiento de la industria del software en Colombia: Un análisis sistémico. *Revista EIA*, (23), 95-106.

Martínez Marín, S. J. *Evaluación de Estrategias de Crecimiento en la Industria del Software en Colombia con Dinámica de Sistemas* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Medellín). 2013.

Martínez, S. J., & Arango, S. Análisis sistémico de la industria del software en Colombia: una mirada a la inversión en capacidades de innovación. *Innovación para la competitividad y el crecimiento de la industria colombiana de software*, 73. 2012.

Merchán, L., & Urrea, A. (2007). Caracterización de las empresas pertenecientes a la industria emergente de software del sur occidente colombiano Caso red de parques PARQUESOFT. *Avances en sistemas e informática*, 4(2).

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. *Desarrollando el sector de TI como uno de clase mundial*. Comunicación Oficial. 2008.

Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones – MINTIC. *Crece la Industria de software 100% Colombiano*. Comunicación Oficial. 23 de Marzo de 2015.

Morecroft, J. D. (2015). *Strategic modelling and business dynamics: A feedback systems approach*. John Wiley & Sons.

Napal, M. (2001). *Una visión Neo Schumpeteriana del Cambio Tecnológico en los países latinoamericanos* (Doctoral dissertation, Tesis de Grado, Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur).

Ovallos Gazabón, D. A., & Amar Sepúlveda, P. A. (2016). Perfil innovador de la industria manufacturera colombiana. Caso del sector metalmecánico de Barranquilla. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.

Palomino Zuluaga, K. C. *Estudio del comportamiento de la industria del software en Colombia ante escenarios de capacidades de innovación y ventajas comparativas por medio de dinámica de sistemas* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). 2011.

Parkin, M., & Esquivel, G. (2006). *Microeconomía: versión para Latinoamérica*. Pearson educación.

Pérez Patiño, A. L., & Robledo Velásquez, J. (2012). Growth of late entrant firms of the software industry: a model of multigenerational product diffusion with network effects. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (65), 60-73.

Pérez Patiño, A. L. (2011). *Crecimiento de firmas de ingreso tardío a mercados de software estandarizado: un enfoque desde la modelación de la difusión competitiva multigeneracional, con efectos de red* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín).

Pérez, A. L., & Palacio, L. G. *Estudio de la industria del software a nivel internacional, nacional y departamental*. 2009.

Portafolio. *El Sector Software Vende 9,3 Billones de Pesos al Año*. Comunicación Oficial. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/sector-software-vende-billones-pesos-ano-24860>. 6 de Agosto de 2015.

PROEXPORT. *Colombia as a Destination for IT Services & Software* (p. 66). Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. Recuperado a partir de <http://www.slideshare.net/investincolombia/it-services-software-industry-opportunities-in-colombia>. 2012.

PROEXPORT. *Colombia La Transformación de un País: Industria del Software y Servicios TI* (p. 45). Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. Recuperado a partir de <http://www.inviertaencolombia.com.co/>. 2010.

- PROEXPORT. *Industria de Tecnologías de Información*. Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. Recuperado a partir de <http://www.inviertaencolombia.com.co/acerca-de-proexport.html>. 2008.
- PROEXPORT. *Invierta en Colombia: trabajo, compromiso e ingenio*. Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. Recuperado a partir de <http://www.inviertaencolombia.com.co/acerca-de-proexport.html>. 2009.
- PROEXPORT. *Colombia: La Transformación de un País- Software y Servicios de Tecnologías de Información (TI)*. Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. Recuperado a partir de [http://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/225_Proexport%20%20Software%20y%20Servicios%20de%20TI%20\(Mayo%202011\).pdf](http://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/225_Proexport%20%20Software%20y%20Servicios%20de%20TI%20(Mayo%202011).pdf). 2011.
- Revista Dinero. La Industria de Software criolla dio un salto de calidad para conquistar el mercado Comunicación Oficial. Recuperado de: <http://www.dinero.com/pais/articulo/progreso-industria-del-software-colombiana/215210>. 10 de Octubre de 2015.
- Robledo, J., & Aguirre, J. (2010). Gestión de las capacidades de innovación tecnológica para la competitividad de las empresas antioqueñas de software. *Medellín: Universidad Nacional*.
- Romijn, H., & Albaladejo, M. (2002). Determinants of innovation capability in small electronics and software firms in southeast England. *Research policy*, 31(7), 1053-1067.
- Rodríguez, K. (2007). La industria de software en Colombia. *Proyecto Sociedad de la Información, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*.
- Rousseva, R. (2007). Approach for analysing capabilities in latecomer software companies.
- Superintendencia de Sociedades. Desempeño del Sector Software 2012-2014. Informe. 2015
- Sterman, J. D. J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world* (No. HD30. 2 S7835 2000).
- Villalba Morales, M. L., Robledo Velásquez, J., & Builes Beltrán, C. Y. (2016). Análisis Estratégico de la Colaboración entre Empresas Nacionales y Multinacionales de Software en Colombia Utilizando Dinámica de Sistemas. *International Journal of Psychological Research*, 9(1), 83-97.
- Villalba, M. (2012). El papel de las Multinacionales en el crecimiento de la Industria Colombiana del Software: Un análisis sistémico desde la perspectiva de las Capacidades de Innovación Tecnológica. *Universidad Nacional de Colombia, Medellín*.
- Yam, R. C., Guan, J. C., Pun, K. F., & Tang, E. P. (2004). An audit of technological innovation capabilities in Chinese firms: some empirical findings in Beijing, China. *Research policy*, 33(8), 1123-1140.

1. PhD. (C) Doctorado en Ingeniería – Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. MSc. Ingeniería – Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. Ingeniera Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Profesor Titular – Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de la Costa. Grupo de Investigación PRODUCOM. Barranquilla – Colombia. E-mail: smartine31@cuc.edu.co

2. Postdoctorado, Universidad de Lugano. PhD en Dinámica de Sistemas, Universidad de Bergen. MSc. Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia. Profesor Titular – Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión, Universidad Nacional de Colombia. Director del Grupo de Investigación en Ciencias de la Decisión. Medellín – Colombia. E-mail: saarango@unal.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 09) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados